DOI: 10.5846/stxb201609031800
杨屹,朱彦臻,张景乾.关中-天水经济区生态足迹变化驱动因素.生态学报,2017,37(21):7061-7067.
Yang Y,Zhu Y Z,Zhang J Q.Driving factors of the ecological footprint of the Guanzhong-Tianshui Economic Zone.Acta Ecologica Sinica,2017,37(21):7061-7067.

关中-天水经济区生态足迹变化驱动因素

杨 屹*,朱彦臻,张景乾
西安理工大学, 西安 710054

摘要:揭示影响关中-天水经济区生态足迹变化的驱动因素,对建立节能型产业结构,寻求经济与环境、生态与社会的协调发展具有重要意义。应用生态足迹和偏最小二乘法,在计算 2005 至 2014 年关中-天水经济区生态足迹的基础上,确定偏最小二乘法变量投影重要性和标准偏最小二乘法系数,比较了驱动因素的重要程度。结果显示,影响生态足迹变化较为重要的驱动因素有第三产业增加值、国内生产总值和社会消费品零售总额。相比之下,常用耕地面积与全区人口数对关中-天水经济区生态足迹驱动作用不显著。为此提出将优化产业结构与优化能源结构有机结合起来、转变能源利用方式、提升能源利用率、提高土地利用率、加强土地保护、提高土地生态承载力、引导低碳消费行为、推行低碳生活方式等对策建议。

关键词:生态足迹;驱动因素;偏最小二乘法;关中-天水经济区

Driving factors of the ecological footprint of the Guanzhong-Tianshui Economic Zone

YANG Yi*,ZHU Yanzhen,ZHANG Jingqian
Xi'an University of Technology, Xi'an 710054, *China*

Abstract: Identifying the factors that drive changes in the ecological footprint of the Guanzhong-Tianshui Economic Zone is crucial for developing energy efficient industrial structures and for developing strategies to simultaneously improve the economy and environment, as well as ecology and society. Based on the zone's ecological footprint from 2005 to 2014, the importance of the PLS model and the standard PLS model coefficients were determined by using the ecological footprint and the PLS model, and the importance of various driving factors was compared. Significant factors included tertiary industry added value, gross domestic product, and total retail sales of consumer goods, but not local population or cultivated land area. Based on these results, specific countermeasures are proposed for the sustainable development of the Guanzhong-Tianshui Economic Zone, such as the combined optimization of industrial and energy structures, in order to improve energy utilization and efficiency. In addition, it is also necessary to improve use efficiency, protection, and the ecological carrying capacity of the land and to encourage low-carbon consumption and low-carbon lifestyles.

Key Words: ecological footprint; driving factors; partial least squares; Guanzhong-Tianshui Economic Zone

作为一种量化反映人类对自然资源使用状况的研究方法,生态足迹将区域的资源与能源消费转化为提供这种物质流所必须的各种生物生产土地的面积[1-2],已被广泛运用于生态现状与可持续发展的研究[3-4]。分析生态足迹变化的驱动因素有利于掌握经济社会发展对生态环境的影响程度。从全国来看,2000 至 2010 年

基金项目:国家社会科学基金西部项目(15XJL009);陕西省自然科学基础研究计划项目(2015JM7381);陕西省教育厅人文社科重点研究基地项目 15JZ041)

收稿日期:2016-09-03; **网络出版日期**:2017-07-11

* 通讯作者 Corresponding author.E-mail: yangyi_nwpu@163.com

间工业化与重化工工业化快速推进,工业主导了生态足迹的变化[5]。仅就能耗而言,一般认为工业能耗会远高于其他产业,第二产业比第三产业对生态足迹变化的影响力大。由此提出了一个命题,产值或能耗占比大的产业是否对驱动生态足迹变化的贡献最多。贾俊松的研究结果表明 1954 至 2006 年河南省生态足迹由第三产业主导,其中,运输业对生态足迹变化具有显著的驱动作用,不必要与无效率的运输活动数量的增长大大增加了生态足迹[6]。宁夏是以“二、三、一”为产业结构特点的资源型重工业省份,但马明德等的研究表明,2001 至 2010 年宁夏第一产业对生态资源占用的弹性高于其他产业[7]。河南、宁夏都是以工业为主的省份,驱动生态足迹变化的产业都不是工业。从实际情况来看,第三产业的快速发展不仅对交通碳排放与能耗有着显著驱动作用[8],而且也推动着建筑行业的能耗增长[9],对生态足迹的变化具有显著驱动作用。2013 年以前,第二产业虽然在产值与能耗总量均超过第三产业,但应注意到,自 1973 年 11 月我国颁布第一个工业类环境标准《工业“三废”排放试行标准》以来,工业环保一直是国内环保政策的重点[10]。随着工业化进程的推进,近年来我国陆续颁布了《工业节能管理办法》、《行业类生态工业园区标准(试行)》、《综合类生态工业园区标准》、《兰炭行业清洁生产标准》等政策,并且制订了《工业绿色发展规划(2016—2020 年)》等文件。这些环保政策有效约束了第二产业的生态占用,在一定程度上降低了其驱动生态足迹增加的作用。相比较而言,第三产业环保问题带来的生态安全隐患不容忽视。2014 年,国家统计局发布的《2013 年国民经济和社会发展统计公报》显示,2013 年全国 GDP 中第二产业和第三产业分别占比为 43.9%和 46.1%,第三产业 GDP 占比首次超出第二产业。在《2015 年国民经济和社会发展统计公报》中,这一占比变为了 40.5%和 50.5%。那么,产业结构的转变是否会带来生态足迹驱动因素的变化呢? 相比第二产业,第三产业资源需求量小、产生废弃物少,是资源节约型与环境友好型产业[11],长期来看,第三产业的低碳发展有助于降低区域生态足迹[12],关中-天水经济区(以下简称“关天经济区”)是西北地区以第二产业集群为依托的国家级经济区。自 2005 年以来,关天经济区第二产业增加值占 GDP 比重一直保持在 50%左右,占据主导地位。作为推动关天经济区经济与社会发展的主导产业,第二产业是否也主导着生态足迹的变化? 其他因素对生态足迹的驱动作用如何? 为此,结合关天经济区产业结构与社会发展状况,应用生态足迹和偏最小二乘法(以下简称“PLS 模型”)探讨影响生态足迹变化的驱动因素。

1 研究区域与研究方法

1.1 研究区域概况

关天经济区处于承接东西、连接南北的重要战略区位,辖区占地面积 7.98 万 km^2,覆盖陕西省的西安市、铜川市、宝鸡市、咸阳市、渭南市、杨凌区、商洛的商州、洛南、丹凤、柞水等部分区县和甘肃省天水市。关天经济区地处内陆,属暖温带半干旱或半湿润气候,以渭河河谷为中轴线,北边为陕北黄土高原丘陵区,南侧紧邻秦岭山地。以秦岭为界,北为黄河支流的渭河流域,南为长江支流的嘉陵江、丹江和汉江流域。西部大开发战略实施以来,城市化、工业化成效显著,2015 年关天经济区实现生产总值 12872 亿元,人均 GDP 43228 元,全社会固定资产投资 14785 亿元。经济的快速发展带来了环境保护、资源消耗等问题。2005 至 2014 年能源总消耗年均增长 7.59%,“以煤为主的能源结构和产业偏重化结构的趋势仍将维持较长一段时期[13]”;提高城市化率直接拉动了城市建设用地的需求,关天经济区常用耕地面积由 2005 年的 2095.09 千 hm^2 减至 2014 年的 2052.90 千 hm^2,土地后备资源呈下降趋势。渭河周边湿地出现大面积萎缩,部分支流水质仍为劣 V 类,生物多样性遭到破坏,区域内生态承载状况不容乐观。

1.2 研究方法

现有研究采用了 IPAT[5]、STIRPAT[14-15]、一般多元线性回归[16]等方法分析生态足迹变化的驱动因素,但传统的回归模型无法克服变量存在多重相关性的问题[17],缺乏对影响生态足迹内在机理的研究,计入模型的影响因子也较少,无法综合反映生态足迹与社会经济指标间的相互影响关系[18]。而 PLS 模型通过辨识和筛选数据信息中的噪音,提取出对因变量具有更强解释性的变量,从而克服了多重相关性、样本点过少等限

制[19-20],因此,采用 PLS 模型对关天经济区生态足迹驱动因素展开研究。

1.2.1　偏最小二乘法

在多元线性回归中,假设有 p 个因变量 $y_1,y_2,\cdots,y_p$,m 个自变量 $x_1,x_2,\cdots,x_m$,选取 n 个样本观测出的数据,构建数据矩阵,分别为 $Y=\{y_1,y_2,\cdots,y_p\}n\times p$,$X=\{x_1,x_2,\cdots,x_m\}m\times n$ 。PLS 模型基本方法就是首先在自变量集 X 中提出第一成分 t_1,从因变量集 Y 中提出第一成分 u_1,t_1和 u_1分别是 $x_1,x_2,\cdots,x_m$ 和 $y_1,y_2,\cdots,y_p$ 的一个线性组合,同时要求 t_1和 u_1可以显著提高 PLS 模型的精度,并携带数据矩阵 X、Y 中的变量的变异信息。精度越高,自变量的线性成分 t_1对因变量的成分 u_1的解释能力就越强。

对模型精度的检验常采用交叉有效性法,以 0.0975 为临界值。在提取了第一个成分 t_1和 u_1后,建立 X 对 t_1的回归和 Y 对 u_1的回归,如果此时回归方程满足这个精度要求,那么算法终止;否则继续进行第二个成分 t_2、u_2的提取,即在数据矩阵 X、Y 提取 t_1和 u_1后,对模型中未被变量解释的部分继续计算与提炼,直到提取的成分在进行回归分析时能够显著解释变量变化为止。最终从数据矩阵 X 中提取了 r 个成分 $t1,t2,\cdots,tr$,PLS 模型将通过建立 $y_1,y_2,\cdots,y_p$ 与 $t1,t2,\cdots,tr$ 的回归式,然后再使用 $y_1,y_2,\cdots,y_p$ 与 $x_1,x_2,\cdots,x_m$ 建立方程式。

在 PLS 模型中,常使用变量投影重要性(Variable Important in Projection,VIP 值)来衡量各个自变量对因变量的解释力,是通过主成分与权重、方差计算表现的间接关系,自变量在主成分中权重越大、方差之比越大,VIP 值就越大,因而对因变量的影响能力就越强。如果自变量的 VIP 值大于 1,可以认为这个自变量是因变量的显著影响因子,驱动作用强;小于 1 的自变量认为相对不太重要,驱动能力弱[21]。

1.2.2　PLS 模型指标选取

徐中民等在评价可持续生态承载时引入了万元 GDP 生态足迹[22]。刘建兴等以第一、二、三产业的生态足迹为研究对象,得出了产业结构对生态足迹具有一定影响的结论[23]。杨勇、李一琼等选取 GDP、城市化水平、居民消费水平、第二产业比重、规模以上工业利润、全社会固定资产投资等社会经济变量,系统分析了对生态足迹变化产生影响的因素[24-25],Wang 以空间差异为角度,发现受地域特点影响,中国东部沿海地区生态足迹普遍偏大[26]。就已有研究选取的驱动因素来看,经济指标中,作为一个能够宏观体现地区经济发展整体状况的指标,GDP 对生态足迹存在较强的影响,产业结构可以反映出地区经济发展与资源利用、土地占用等生态足迹关键指标的关联性,体现生态资源供需情况,全社会固定资产投资在一定程度上可以反映出地区产业结构的特征,规模以上工业总产值主要体现当地的工业企业对生态资源的消费情况。社会指标中,总人口数可用以研究区域中人口规模对生态资源消耗的影响[27],农村人口与城镇人口比例、城市化率可以反映出地区人口的构成变化对生态环境的影响[28],城镇、农村人均消费支出可以反映出不同社会群体消费对地区生态环境的影响,进出口总额表现出贸易水平的变化对生态环境的影响,耕地面积则考量了土地利用的影响。

考虑到数据的可获得性和统计口径,选取了经济、人口、居民消费、土地利用 4 个维度的指标(表 1)。经济方面,选取 GDP 作为数量指标,选取三次产业增加值、全社会固定资产投资与规模以上工业总产值作为结构指标。人口方面,考虑到市级数据统计情况,人口比例仅有 2010 年的人口普查的结果,不能形成可以反映地区人口结构变化的时间序列数据,因此舍弃城镇人口与农村人口的比例、城市化率,只选取总人口数。居民消费方面,市级数据统计中没有详细的城镇居民、农村居民的消费支出,因此采用城镇居民和农村居民的纯收入进行替代,并用社会消费品零售总额反映地区居民消费的状况。土地利用方面,采用耕地面积作为反映土地结构的指标。另外,由于在研究生态足迹时未做区域进出口贸易调整,因而未将进出口总额等指标纳入生态足迹驱动因素模型。以地区生态足迹总量为因变量 Y,选取表 1 中 X_1至 X_{11}作为自变量。

1.2.3　数据来源及处理

研究数据来源于《陕西统计年鉴(2006—2015)》、《甘肃统计年鉴(2006—2015)》、关天经济区辖区内各市区《国民经济和社会发展统计公报》。商洛市的镇安县、商南县与山阳县不属于关天经济区,考虑到其经济总量与资源消耗占比较小,计算时使用商洛市数据代表商州、洛南、丹凤、柞水一区三县,为统一数据统计口径,采用农作物产量替代农产品的消费量。

表 1 生态足迹变化的驱动因素指标选取

Table 1 The selection of ecological footprint driving factors

指标维度 Dimension of index	驱动因素 Driving factors	对应自变量 The independent variables	指标维度 Dimension of index	驱动因素 Driving factors	对应自变量 The independent variables
经济指标	GDP (亿元)	x_1	社会消费	社会消费品零售总额/亿元	x_7
Economic indicators	第一产业增加值/亿元	x_2	Social spending	居民人均可支配收入/(元/人)	x_8
	第二产业增加值/亿元	x_3		农民人均纯收入/(元/人)	x_9
	第三产业增加值/亿元	x_4	土地利用 The land use	常用耕地面积/hm^2	x_{10}
	规模以上工业总产值/亿元	x_5	人口规模 Population size	全区人口数/(万人)	x_{11}
	全社会固定资产投资/亿元	x_6			

2 结果分析

2.1 生态足迹测算与分析

关天经济区的生态足迹测算结果显示(图 1),2005 至 2014 年关天经济区人均生态足迹呈现出增长趋势,由 2005 年的 1.796hm²/人增长至 2014 年的 3.117hm²/人,增长幅度为 73.55%,年均增长率为 6.32%。2005 至 2014 年第二产业增加值占比维持在 50%左右,高于其他产业占比。随着城市化与工业化进程的推进,自然资本的占用与污染排放的强度进一步增加,生态足迹随之增加。

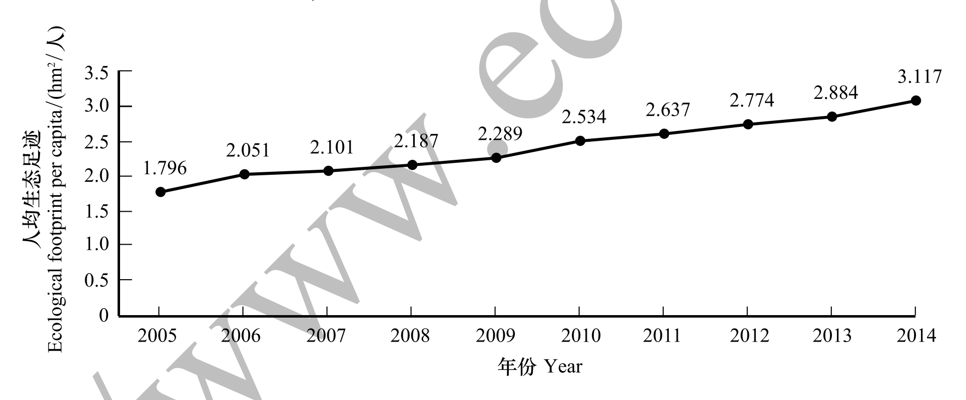


图 1 2005 年至 2014 年关天经济区人均生态足迹变化趋势

Fig.1 The changing trend of ecological footprint per capita of Guanzhong-Tianshui Economic Zone from 2005 to 2014

2005 至 2014 年关天经济区各类账户人均生态足迹均值测算结果显示(表 2),化石能源用地人均生态足迹均值最大,达到 1.271hm²/人,其余依次为耕地类生态足迹 0.353hm²/人、污染吸纳地 0.476hm²/人、草地 0.274hm²/人、林地 0.040hm²/人、水域 0.025hm²/人和建设用地 0.006hm²/人。化石能源账户产生的生态足迹是生态足迹的主要组成部分,占 51.39%,并且呈现出上升趋势,耕地、林地、草地、水域和建设用地 5 类生态足迹相加占 29.36%,污染吸纳地占总体比例的 19.25%,表明生态足迹的分布不均衡。

2.2 PLS 模型结果与分析

提取第一成分 t_1,交叉有效性 $Q_1^2=0.9604>0.0975$,进而继续提取成分 t_2,交叉有效性 $Q_2^2=-0.4484<0.0975$。因此计算需提取一个成分 t_1 即可。提取一个成分 t_1 时,*PLS* 模型对因变量的解释能力为 0.9726。

得出关天经济区生态足迹标准化数据 PLS 模型(式 1):

$$Y = 5.801 + 0.114X_1 + 0.119X_2 + 0.107X_3 + 0.122X_4 + 0.117X_5 + 0.101X_6 + 0.111X_7 + 0.117X_8 + 0.088X_9 + 0.013X_{10} + 0.014X_{11} \quad (1)$$

表 2　2005 至 2014 年关天经济区各账户科目人均生态足迹

Table 2　Ecological footprint per capita of each subject in the Guanzhong-Tianshui Economic Zone from 2005 to 2014

人均生态足迹/(hm^2/人) Ecological footprint per capita		2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	均值 Average
生物资源账户 Biological account	耕地	0.316	0.332	0.286	0.338	0.356	0.382	0.331	0.352	0.341	0.494	0.353
	林地	0.023	0.027	0.028	0.034	0.040	0.043	0.048	0.051	0.051	0.053	0.040
	草地	0.253	0.272	0.192	0.215	0.254	0.284	0.302	0.313	0.323	0.327	0.274
	水域	0.016	0.016	0.009	0.009	0.010	0.019	0.019	0.020	0.023	0.025	0.017
	合计	0.608	0.647	0.515	0.596	0.660	0.728	0.700	0.736	0.738	0.899	0.683
化石能源账户 Energy resource account	合计	0.843	0.924	0.994	1.083	1.168	1.304	1.434	1.571	1.677	1.710	1.271
建设用地账户 Construction land account	合计	0.004	0.003	0.004	0.005	0.006	0.007	0.007	0.007	0.009	0.010	0.006
污染排放账户 Emission account	水污染	0.094	0.079	0.129	0.098	0.118	0.102	0.092	0.098	0.099	0.124	0.103
	大气污染	0.234	0.266	0.259	0.212	0.267	0.209	0.213	0.183	0.178	0.165	0.219
	固废污染	0.011	0.129	0.138	0.162	0.128	0.185	0.190	0.178	0.182	0.208	0.151
	合计	0.339	0.475	0.526	0.502	0.513	0.496	0.496	0.456	0.460	0.497	0.476
总计 Total		1.796	2.051	2.101	2.187	2.289	2.534	2.637	2.774	2.884	3.117	2.473

选取特异点分析来进一步确认 PLS 模型的可靠性,根据特异点识别原理绘制主成分 t_1/t_2 的散点图,用以识别特异点(图 2)。从 t_1/t_2 椭圆图可以看出,样本点都分布在椭圆内部,不存在特异点,可以认为模型的拟合效果好,样本的质量可以得到保证,不需要进行改动。

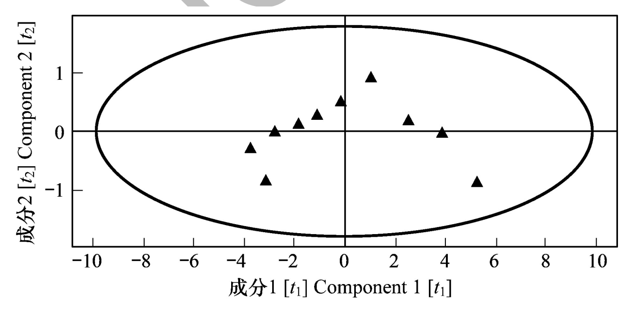


图 2　t_1/t_2 椭圆图

Fig.2　t_1/t_2 oval figure

选取自变量 VIP 值来衡量各驱动因素对于生态足迹变化的重要性,通过 PLS 模型获得的生态足迹影响因子的重要性程度,按照由大到小排列的顺序,依次为第三产业增加值、GDP、社会消费品零售总额、居民人均可支配收入、规模以上工业总产值、第二产业增加值、全社会固定资产投资、第一产业增加值、农民人均纯收入、常用耕地面积、全区人口数(见图 3),仅常用耕地面积与全区人口数 VIP 值低于 1,其余驱动因素均大于 1,且均在 1.0 至 1.1 之间,差距较小,除常用耕地面积与全区人口数外,其余指标对生态足迹变化的驱动作用较为接近。

3　结论和启示

3.1　结论

影响关天经济区生态足迹变化的驱动因素按重要性依次是第三产业增加值、GDP、社会消费品零售总额、城镇居民人均收入、规模以上工业总产值、第二产业增加值、全社会固定资产投资总额、农民人均纯收入、第一产业增加值、耕地面积、全区人口数。

在经济指标方面,第三产业增加值 VIP 值最高,对生态足迹变化的驱动作用最为显著,第二产业对生态足迹的驱动作用低于第三产业,但仍对生态足迹变化造成了显著影响。第二产业增加值占 GDP 比重最大,并且呈现继续上升趋势。关天经济区内城市社会经济的快速发展得益于工业企业的经营生产,企业消耗着大量的能源资源,排放着大量的污染废气物,导致地区化石能源账户和污染排放账户生态足迹大幅度增加。值得注意的是,作为主导产业,第二产业在生态足迹驱动作用上让位于第三产业,存在着主导产业与生态足迹驱动因素不一致的现象,究其原因,由于是渭河综合治理、治理雾霾、节能降耗、淘汰落后产能等政策发挥了重要作用,制约了第二产业的生态占用,更重要的是,以生态农业、休闲旅游业、物流业等为代表的特色产业发展十分

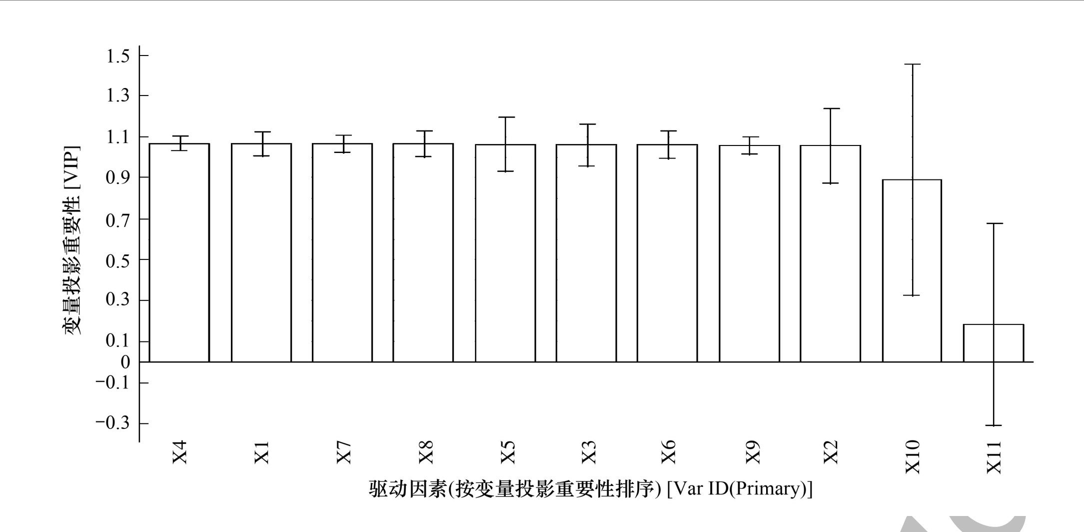


图 3 变量投影重要性输出

Fig.3 Variable importance projection output

迅速,衍生出的生态环境问题日益突出。

在社会消费方面,城镇消费的驱动作用强于农村消费,这一结论也符合通识知识,随着收入水平的提升,蔬菜、水果、肉类、奶制品的消费结构在发生变化,消费量逐渐增加,由于城乡生活习惯不同,城市对非能源产品与服务的需求量和需求种类更加繁多,碳消费随之提升;同时,高收入人群对公共交通的依赖较低,选择私人交通工具的比例较高,同时伴随着生活质量的提升,空调、冰箱等家用电器数量也呈现同步上涨趋势,居民能源消耗因此而增加。

在人口与土地方面,耕地面积对生态足迹驱动作用不强,一方面是因为城市发展占用了较多的耕地,耕地面积在减少,耕地产生的生态足迹减少;另一方面,城市扩张会增加建筑用地,建筑用地总生态足迹在增加,二者会产生抵消效应,即,一种生态占用的减少与另一种生态占用的增加,导致了生态足迹总量没有发生较大幅度的变动。地区人口总数与生态足迹变化呈正相关,恰恰反映出生态足迹更多来源于人类活动。

3.2 对策与建议

第一,将优化产业结构与优化能源结构有机结合起来。加强对第三产业生态环境的政策监管和用能管理,严格商贸、服务业的能源审计和节能减排行动。以建设低碳旅游景区、发展低碳旅游业为目标,加强西安、宝鸡、商洛、天水等秦岭山地生态旅游区的生态环境保护与建设,整合旅游资源,优化旅游路线,形成历史人文与自然生态的丝绸之路旅游走廊。推广节能建筑,减少建筑业运行能耗,开展大型公共建筑和公共机构办公建筑空调、采暖、通风、照明、热水等用能系统的节能改造,推动分布式太阳能、地热能规模化的应用。以西安、咸阳、宝鸡、天水为产业集中区,推广清洁生产技术,建设工业园区循环经济体系,打造循环经济产业链,实现工业废弃物的再生利用和无公害处理。

第二,转变能源利用方式,提升能源利用率。关天经济区化石能源账户生态足迹占比高达 51.39%,而煤炭比例一直维持在 70%—80%,为此,应以“去产能”为契机,实施分区域资源、能源综合治理,实施“控煤工程”,严控煤炭增量,建立健全能源消耗强度与能源消费总量“双控”制度,强化重点产业节能,有步骤地降低关天经济区能源消耗总量,减少煤炭等高碳化石能源的消费比例,推进工业锅炉(窑炉)节能改造、热电联产、集中供热,余热余压利用、电机系统节能改造、能量系统优化、建筑节能、绿色照明、政府机构节能、燃煤锅炉能效测试等节能工程建设。大力开发利用地热能、太阳能、风能等清洁能源,重点发展现代风力发电设备零部件产业化项目。

第三,加强土地保护,提高土地生态承载力。在推动关天经济区新型城镇化建设中,以秦岭、渭北苔原、黄土高原为生态屏障,按生态功能重要性、生态环境敏感性脆弱性划定生态保护红线,并将生态保护红线作为编制空间规划的基础,明确管理责任,强化用途管制,加强监测监管,要避免侵占优质耕地,确保现有生产性土地

不被弃耕或被城市建设所蚕食,提高生物生产性土地的利用效率。坚持封山禁牧、封山育林草,依靠生态自然修复,并加强农田水利设施建设,通过灌溉转换荒地为可耕型土地,注重维护与提高林、草生态系统的健康稳定。

第四,引导低碳消费行为,推行低碳生活方式。应引导关天经济区城市发展绿色交通,率先在关中城市群中规划建设公共自行车交通网络,加强城市非机动车道和步行道建设,优先保障低碳出行。以渭河流域水污染防治巩固提高三年行动为基础,提高生活污水处理能力,切实保障城镇污水处理厂的处理率、污水再生利用率,同时,建立生活垃圾及其他废旧物资回收利用系统,推进餐厨废弃物资源化、无害化利用试点建设。

需要指出的是,如果按照第一、第二、第三产业能耗状况准确计算能源账户生态足迹,将有助于对节能型产业结构的理解,但由于我国目前的能源统计方式还难以按照产业类型反映能耗状况,因此研究结果的精度受到了数据源的限制。

参考文献(References):

[1] Rees W E. Ecological footprints and appropriated carrying capacity: what urban economics leaves out. Environment and Urbanization, 1992, 4(2): 121-130.

[2] 徐中民, 张志强, 程国栋. 甘肃省 1998 年生态足迹计算与分析. 地理学报, 2000, 55(5): 607-616.

[3] Rees W E, Wackernagel M. Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth. Gabrioala, BC, Canada: New Society Publishers, 1996,1(3):171-174.

[4] 史丹, 王俊杰. 基于生态足迹的中国生态压力与生态效率测度与评价. 中国工业经济, 2016, (5): 5-21.

[5] 黄宝荣, 崔书红, 李颖明. 中国 2000-2010 年生态足迹变化特征及影响因素. 环境科学, 2016, 37(2): 420-426.

[6] 贾俊松. 河南生态足迹驱动因素的 Hi_PLS 分析及其发展对策. 生态学报, 2011, 31(8): 2188-2195.

[7] 马明德, 马学娟, 谢应忠, 马甜. 宁夏生态足迹影响因子的偏最小二乘回归分析. 生态学报, 2014, 34(3): 682-689.

[8] 沈满洪, 池熊伟. 中国交通部门碳排放增长的驱动因素分析. 江淮论坛, 2012, (1): 31-38.

[9] 褚智亮, 杨永标, 王旭东, 黄莉, 王冬. 基于 STIRPAT 模型驱动建筑能耗增长影响因素的研究. 电力与能源, 2015, 36(2): 251-255.

[10] 周宏春, 季曦. 改革开放三十年中国环境保护政策演变. 南京大学学报: 哲学. 人文科学. 社会科学版, 2009, 46(1): 31-40, 143-143.

[11] 王立群, 李冰, 郭轲. 北京市生态足迹变化及其社会经济驱动因子分析. 城市问题, 2014, (7): 2-8.

[12] 杨小燕, 赵兴国, 崔文芳, 丁生. 欠发达地区产业结构变动对生态足迹的影响--基于云南省的案例实证分析. 经济地理, 2013, 33(1): 167-172.

[13] 陕西省环境保护厅. 陕西省"十三五"环境保护规划(征求意见稿). [2016-05-26]. http://www.shaanxi.gov.cn/0/1/11/3868/215830.htm.

[14] Richard Y, Rosa E A, Dietz T. STIRPAT, IPAT and Impact: analytic tools for unpacking the driving forces of environmental impacts. Ecological Economics, 2003, 46(3): 351-365.

[15] 陈操操, 刘春兰, 汪浩, 关婧, 陈龙, 王海华, 张继平, 李铮, 刘晓洁. 北京市能源消费碳足迹影响因素分析--基于 STIRPAT 模型和偏小二乘模型. 中国环境科学, 2014, 34(6): 1622-1632.

[16] 蒋莉, 陈治谏, 沈兴菊, 郭娜. 生态足迹影响因子的定量分析——以中国各省(区市)1999 年生态足迹为例. 长江流域资源与环境, 2005, 14(2): 238-242.

[17] 吴开亚, 王玲杰. 生态足迹及其影响因子的偏最小二乘回归模型与应用. 资源科学, 2006, 28(6): 182-188.

[18] 鲁凤, 徐建华, 王占永, 胡秀芳. 生态足迹影响因子定量分析及其动态预测比较研究——以新疆为例. 地理与地理信息科学, 2010, 26(6): 70-74.

[19] 王惠文. 偏最小二乘回归方法及其应用. 北京: 国防工业出版社, 1999.

[20] Jia J S, Deng H B, Duan J, Zhao J Z. Analysis of the major drivers of the ecological footprint using the STIRPAT model and the PLS method-A case study in Henan Province, China. Ecological Economics, 2009, 68(11): 2818-2824.

[21] 鲁凤. 生态足迹变化的动力机制及生态足迹模型改进研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2011.

[22] 徐中民, 张志强, 程国栋, 陈东景. 中国 1999 年生态足迹计算与发展能力分析. 应用生态学报, 2003, 14(2): 280-285.

[23] 刘建兴, 顾晓薇, 李广军, 王青, 刘浩. 中国经济发展与生态足迹的关系研究. 资源科学, 2005, 27(5): 33-39.

[24] 杨勇, 任志远. 铜川市 1994-2003 年人均生态足迹变化及社会经济动因分析. 干旱地区农业研究, 2007, 25(3): 213-218.

[25] 李一琼, 刘艳芳, 唐旭. 广西生态足迹及影响因子的空间差异分析. 测绘科学, 2016, 41(11): 71-78.

[26] Wang M Q, Song Y Y, Liu J S, Wang J D. Exploring the anthropogenic driving forces of China's provincial environmental impacts. International Journal of Sustainable Development and World Ecology, 2012, 19(5): 442-450.

[27] Dietz T, Rosa E A, York R. Driving the human ecological footprint. Frontiers in Ecology and the Environment, 2008, 5(1): 13-18.

[28] Wang M Q, Liu J S, Wang J D, Zhao G Y. Ecological footprint and major driving forces in West Jilin Province, Northeast China. Chinese Geographical Science, 2010, 20(5): 434-441.